

東京都内における降水中の酸性沈着の経年変化

苗村晶彦 渡邊善之※1

総合教養センター

1. はじめに

酸性雨は地球温暖化、成層圏オゾン層破壊などと共によく知られている地球規模の環境問題である。一般的には「雨が酸性になる」と広く知られているが、辞書には「大気汚染物質の窒素酸化物や硫黄酸化物が溶け込んで降る酸性の雨。水素イオン濃度指数 (pH) が 5.6 以下。土壌・森林・湖沼などに被害を与える。」と記載されている。pH は、

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

で表記され、水素イオンの濃度を示す。しかしながら、pH をもとに議論をすると本来の問題の核心を外すことになる。なぜならば、pH は酸と塩基のバランスで成り立っているため、酸が多くても中和する塩基が多ければ、水素イオン濃度は低くなるからである。

酸性雨と呼ばれる環境問題は石油や石炭を工場、発電所、あるいは自動車のエンジンの中などで燃焼することから始まる。このとき硫黄酸化物、窒素酸化物という大気汚染物質が大気中へ排出され、硫酸 (H_2SO_4) や硝酸 (HNO_3) へと化学変化を起こす。これらは共に強酸であり、それぞれ粒子やガスの状態で大気中に存在し、大気汚染が進むとこれらの酸の濃度も上昇するが、この状態を大気が「酸性化」したという¹⁾。

酸性物質が地上に降下する過程は、雨、雪、霧などに溶け込み降水として降下する場合 (湿性沈着) と、微粒子またはガスとして降下する場合 (乾性沈着) があり、両者を総称して酸性沈着と呼んでいる。それらの影響は、大気から地上へ降下した酸性物質の量によって決まるので、雨の場合ならば、強い酸性の雨が少し降るよりも、それほど酸性が強くない

雨が多く降ったときの方が沈着した酸性物質の量が地上に多くなることがある²⁾。

本研究では、日本において 1300 万人と多くの人々が集中する東京都における降水の酸性沈着に焦点をあてた。そのため、東京都が公表しているデータに着目し³⁾、1992 年から 2005 年までの東京都内の沿岸地域および丘陵地域における湿性沈着となる降水中の NO_3^- や SO_4^{2-} について、経年変化の状況を解析することを目的とした。

2. 調査地および試料と方法

東京都における降水採取地点は沿岸地域として江東、丘陵地域として多摩を選定した。具体的な採取地点は、江東は東京都江東区新砂の東京都環境科学研究所 6 階屋上で、多摩は東京都多摩市愛宕の愛宕神社参道側市有地 (多摩一般環境大気測定局) である³⁾。

データの試料採取法は、降雨時に降り始めから 0.5 mm 毎に一定量を採取し、その雨を貯留し、月 1 回回収したものをあてている。 NO_3^- と SO_4^{2-} の分析方法はイオンクロマトグラフ法、pH はガラス複合電極法、 Na^+ は原子吸光法で分析している³⁾。

3. 結果と考察

3.1. 江東および多摩における降水量の結果

1992 年から 2005 年までの 14 年間の降水量の結果を図 1 に示した。14 年間の平均値は江東、多摩においてそれぞれ 1281 mm、1449 mm となっている。江東において最も少なかった年は 2000 年の 809 mm、最も多かった年は 2005 年で 1525 mm となっている。多摩において最も少なかった年は

※ 1 福島大学大学院共生システム理工学研究科

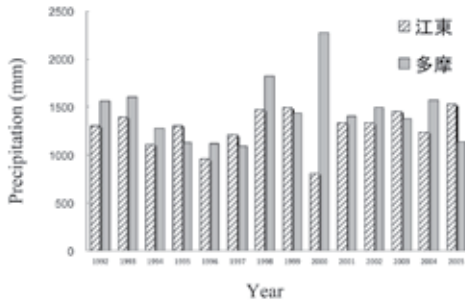
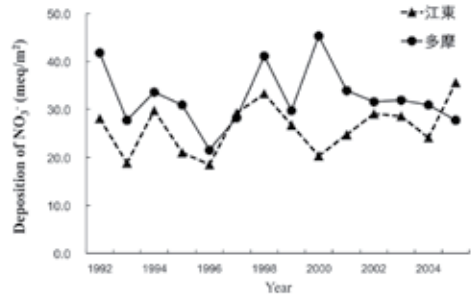


図1 江東および多摩における降水量

1997年の1096 mm、最も多かった年は2000年で2269 mmとなっている。特徴的なのは2000年における降水量で江東では最も少ない年、多摩では最も多い年になっていることである。多摩における2000年の降水量が多いのは、特に9月7～19日の期間に多かったことが原因と考えられる。苗村らの調査⁴⁾においても、この期間に奥秩父と多摩丘陵でそれぞれ183 mm、573 mmであり多摩丘陵においては記録的な降水量を示している。1991年から2000年の旬あたりの降水量の内 (n=360)、300mm以上の降水量を記録したのは、1991年9月中旬の451mm、1999年8月中旬の388mm、2000年9月中旬の448mmの3ケースのみであり、2000年9月7～19日の期間の降水量が特異的だったことが示されている⁴⁾。多摩は多摩丘陵に位置するため2000年における多摩の降水量が多かったのは上記による影響が考えられる。

3.2. 東京における降水中の NO_3^-

1992年から2005年までの14年間の降水中の NO_3^- の沈着量の結果を図2に示した。江東における加重平均値は 26.3 meq/m^2 、多摩においては 32.6 meq/m^2 となり、沿岸域の江東よりも多摩で1.2倍高かった。14年間の経年変化の傾向としては、降水量が多かった1998年および2000年の多摩において NO_3^- が高かった。多摩地域における NO_3^- については1970年代から2000年までに降水中の NO_3^- が増加したという報告がある⁵⁾。増加傾向にある理由としては、住宅や土地開発と道路網が整備され自動車が増加したことなどに因ると考えられて

図2 江東および多摩における降水中の NO_3^- 沈着量

いる⁵⁾。2000年代においては、多摩近郊の狛江における調査において降水中の NO_3^- は減少している傾向にある⁶⁾。これは、地域規模の先駆物質の排出量が減少していることにより、大気中の NO_x 濃度が減少していることが原因であることが指摘されている⁶⁾。

3.3. 非海塩硫酸イオンと N/S 比

日本は四方を海に囲まれて、主な大都市や工業地域は沿岸部に位置しているため、人為的起源による沈着量の把握には海洋由来成分を的確に推定し、これから非海洋由来成分の量を算出する必要がある。 SO_4^{2-} は海水にも含まれており、降水は海塩粒子を取り込むのでこれらのイオンの寄与を海塩以外の寄与と区別する必要があるが出てくる。この方法はいくつかあるが、モニタリングにおいては Na^+ をすべて海塩由来であると仮定し、さらに Na^+ と SO_4^{2-} との割合は海水飛沫の発生から湿性沈着するまでの間、一定と仮定する。海水のイオン濃度比はよく知られているので、以下のように式を見積もることができる。ここで、 $([\text{SO}_4^{2-}]/[\text{Na}^+])_{ss}$ の ss は海洋性 (seasalt)、 nss は非海洋性 (non-seasalt) である。また、イオンの海水濃度比の値は、当量基準で0.121である。

$$\begin{aligned}
 [nss\text{-}\text{SO}_4^{2-}] &= [\text{SO}_4^{2-}] - \\
 & \quad ([\text{SO}_4^{2-}]/[\text{Na}^+])_{ss} \times [\text{Na}^+] \\
 &= [\text{SO}_4^{2-}] - 0.121[\text{Na}^+]
 \end{aligned}$$

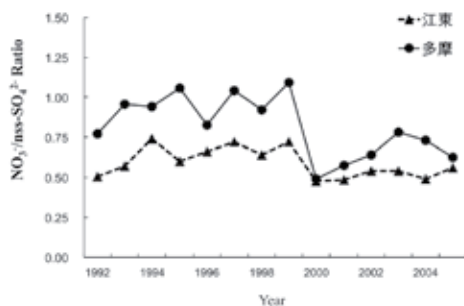


図3 江東および多摩における降水中のN/S比

SO_4^{2-} に対する nss-SO_4^{2-} の占める割合は、14年間の加重平均で江東においては90.8%、多摩においては93.6%となった。

また、人為起源の酸性沈着の NO_3^- と nss-SO_4^{2-} について、どちらが酸性沈着に寄与しているかを調べる為に、当量比 (N/S比) を1992年から2005年までの14年間の降水中の NO_3^- と nss-SO_4^{2-} の当量比 (N/S比) を図3に示した。全般的に多摩のN/S比が江東を上回った。降水中の酸性沈着は、湿性沈着のみならず乾性沈着の影響も大きく影響してくる。関東地方においては、高気圧圏下において、東京湾や相模湾と陸地との間で発生する比熱の差および中部山岳地帯に熱的低気圧が形成されることにより、広域的な海風が形成される。この海風は東京湾から浦和、高崎を経て軽井沢まで達する。このため京浜工業地帯で発生した大気汚染物質は、海風によって内陸に長距離輸送される⁷⁾。また、同じく高気圧圏下において、中部山岳地帯等で熱的低気圧が形成されることにより、関東圏から福島県海岸域に大気汚染物質が長距離輸送される報告もある⁸⁾。その結果、硝酸塩の降下量は江東よりも内陸に位置する多摩のほうがN/S比が高くなったと推測される。

なお、2000年にN/S比が急激に低下しているのは三宅島雄山の噴火の影響が考えられる⁹⁾。

3.4. pHとpAi

pHは、酸とアルカリのバランスで決まるが、酸が多くても中和するアルカリが多ければ、水素イオンは少なくなる。そこで、中和を受けなかったと仮定したとき、もともとあった酸は、 NO_3^- と nss-SO_4^{2-} の和であり、これを入力酸性度 (Ai) という

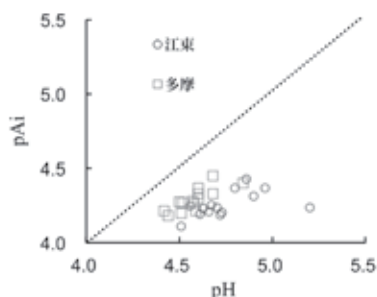


図4 江東および多摩における降水中のpHとpAiの関係

¹⁰⁾。これに対する、中和を受けた後の酸の濃度はpHとして測定される。この両者の対応を考慮してpAiをpHと同様に、その逆数の常用対数をとって、中和を全く受けなかったときに予想されるpHとでもいう量pAiを以下の式で定義する。

$$\text{pAi} = -\log (2 \times [\text{nss-SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-])$$

そこで、降水中の江東および多摩におけるpHとpAiの関係を図4に示した。点線で示したのは、pHとpAiが1対1の関係を表している。江東において年平均値の降水中のpH範囲は4.5～5.2、pAiは4.1～4.4となった。また、多摩において年平均値の降水中のpH範囲は4.4～4.8、pAiは4.2～4.5となった。両地点とも1対1の直線よりも下部にプロットされ、江東および多摩におけるpAiはpHよりも低い傾向を示した。これは、降水では中和作用が大きく働いていると考えられ、特に江東ではその傾向がより顕著であった。江東や多摩においては年平均値からの算定だったために、値の範囲は狭かったが、今後季節的変動など詳細に解析することにより大都市の沿岸地域や丘陵地域における湿性沈着の特色が明らかになるものと推察される。

参考文献

- 1) 原 宏 (1997) 日本の降水の化学, 日本化学会誌 1997: 733-748.
- 2) 気象庁 (2010) 降水・降下じんの化学成分, 大気・海洋環境観測報告 10: 212-222.

- 3) 東京都環境科学研究所 (2007) 地球環境及び浮遊粒子状物質関連データ集 (平成 17 年度) pp.266, 東京都環境科学研究所.
- 4) 苗村晶彦・吉川哲生・佐藤敬一・土器屋由紀子 (2003) 奥秩父および多摩丘陵におけるスギの林内雨、樹幹流の測定, 日本生気象学会雑誌 39 : 121-125
- 5) 土器屋由紀子・小倉紀雄・安富六郎・内川武 (2001) 多摩丘陵の自然と研究 pp.134, けやき出版.
- 6) 藤田慎一・速水洋・高橋章・光瀬彦哲・三浦和彦・出田智義 (2012) 東京都狛江市における降水組成の経年変化, 環境科学会誌 25 : 26-36.
- 7) 栗田秀實・植田洋匡 (1986) : 沿岸地域から内陸地域への大気汚染物質の輸送および変質過程. 大気汚染学会誌 21 : 428-438.
- 8) 渡邊善之・渡邊明 (2012) 福島県海岸域における高濃度オゾンの出現, 大気環境学会誌 47 : 145-154.
- 9) 上野広行・小峯美奈子 (2005) 酸性雨自動測定機によるモニタリング結果について, 東京都環境科学研究所年報 2005 : 250-251.
- 10) Daum, P.H., Kelly, T.J., Schwartz, S.E. and Newman, L. (1984) Measurements of the chemical composition of stratiform clouds. Atmos. Environ., 18 : 2671-2684.